



㉗ Anmelder:
ABB Patent GmbH, 68309 Mannheim, DE

㉘ Erfinder:
Mast, Jochen, Dipl.-Ing., 69126 Heidelberg, DE;
Heinemann, Lothar, Dr.-Ing., 69493 Hirschberg, DE;
Miermann, Rainer, Dipl.-Ing., 69493 Hirschberg, DE;
Arzberger, Michael, Dr.-Ing., 68519 Viernheim, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 44 18 296 A1
US 48 15 106
EP 09 15 574 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Einkoppelstufe für ein Datenübertragungssystem für Niederspannungsnetze

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Einkopplung eines hochfrequenten Sendesignals (u_{HF}) in ein Niederspannungsnetz ($L1, N$), wobei ein Ausgangsverstärker (202) angeordnet ist, dem als Eingangsspannung eine an einer Additionsstelle (209) gebildete Differenzspannung (u_{Diff}) zwischen dem Sendesignal (u_{HF}) und einem Rückführsignal ($u_{rück}$) zugeführt ist. Dem Ausgangsverstärker (202) ist zur Anpassung an die Netzimpedanz (Z_L) ein Netzwerk (206) nachgeschaltet. Am Ausgang des Netzwerks (206) sind Mittel (208) zur Erfassung einer dem Netzwerk-Ausgangsstrom- (i_M) -proportionalen Spannung (u_{mess}) angeordnet, und die erfaßte Spannung (u_{mess}) ist einem Reglermodul (207) zugeführt, dessen Ausgangssignal das Rückführsignal ($u_{rück}$) ist.

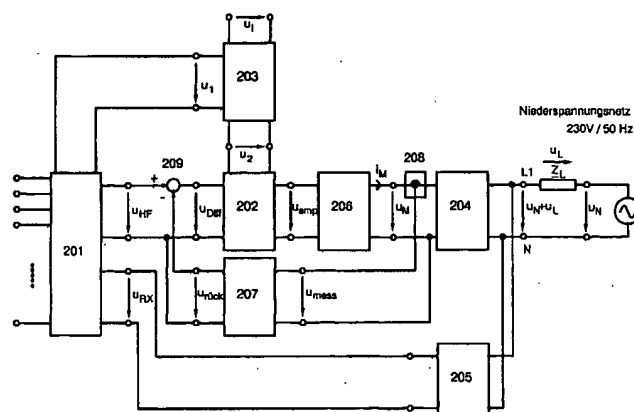


Fig. 2: Blockschatbild der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Einkopplung von hochfrequenten Nutzsignalen für eine bidirektionale Datenübertragung auf einem Niederspannungsnetz.

Durch die Deregulierung des Energiemarktes und die damit verbundenen Energie-Mehrwertdienste hat das Interesse an der direkten Übertragung von Daten zwischen den Energieversorgungsunternehmen und den verschiedenen Endkunden stark zugenommen. Der dazu notwendige bidirektionale Datentransfer kann dabei vorteilhaft über das Niederspannungsnetz selbst erfolgen. Diese Art der Datenübertragung wird als Power-Line-Kommunikation (engl. power line communication = PLC) bezeichnet. Das Datenübertragungssystem kann dabei schematisch durch eine sternförmige Anordnung repräsentiert werden. Im Knotenpunkt des Sternes befindet sich eine intelligente Steuerungseinheit, der sogenannte Intelligente Netzcontroller (= INC). In den Endpunkten werden die Signale für den bidirektionalen Datentransfer jeweils durch eine Sender/Empfängereinheit erzeugt bzw. verarbeitet. Diese Sende/Empfängereinheit wird auch als Transceiver (= TR) bezeichnet. Der Sternpunkt entspricht in der Praxis üblicherweise der 50-Hz-Verteiltransformatorstation, die Endpunkte sind üblicherweise in der Nähe des Hausanschlusses des Endkunden zu finden.

Um das Niederspannungsnetz als Übertragungsmedium nutzen zu können, wird im INC sowie in jedem TR ein Modulator/Demodulator (= Modem) verwendet, wo die digitalen Nutzdaten für den Nachrichtenkanal geeignet aufbereitet werden. Das Modem wiederum besteht im wesentlichen aus einem Teil zur Signalverarbeitung, wo die Modulation/Demodulation erfolgt, und einer Netzeinkoppelstufe, mit der das analoge Ausgangssignal auf das Niederspannungsnetz aufgebracht und auch empfangen wird.

Nach Deutsches Institut für Normung: DIN EN 50065-1: Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148,5 kHz, VDE-Verlag, Berlin; reicht das gesamte für die Kommunikation auf Niederspannungs-Verteilnetzen für Energieversorgungsunternehmen freigegebene Frequenzband von 9 bis 95 kHz. Wie dabei in "Arzberger, M.: Datenkommunikation auf elektrischen Verteilnetzen für erweiterte Energiedienstleistungen, Dissertation Universität Karlsruhe, 1997; dargelegt, wird dabei aufgrund der speziellen Eigenschaften des Nachrichtenkanals das sogenannte Frequency-Hopping-Modulationsverfahren (= FH-Modulation) mit z. B. 4 diskreten Frequenzen innerhalb eines Frequenzbereiches von z. B. 40 bis 80 kHz verwendet. Der INC prüft periodisch die Erreichbarkeit der einzelnen TR und wickelt bei Bedarf Datenverkehr ab (= Polling-Verfahren).

Prinzipiell sind zwei verschiedene Varianten zur Ein- und Auskopplung von Signalen auf das Niederspannungsnetz denkbar, nämlich die serielle und die parallele Ein- und Auskopplung. Eine bidirektionale Datenübertragung im Frequenzbereich von 40 bis 80 kHz läßt sich mit der parallelen Ein- und Auskopplung kostengünstiger realisieren, da die Ausgangsstufe für die Auskopplung der Signale einfach über einen genügend spannungsfesten Kondensator (um die 230 V/50-Hz-Netzspannung vom Modem fernzuhalten) und evtl. über einen Übertrager zur Potentialtrennung parallel an das Versorgungsstromnetz angeschlossen wird. Die Ein- und Auskopplung erfolgt entweder zwischen einer Phase und dem Neutraleiter oder, z. B. bei Netzen ohne Neutraleiter, zwischen zwei Phasen. Die Ein- und Auskopplung zwischen einer Phase und dem Neutraleiter wird üblicherweise aus praktischen Gründen vorgezogen, weil die vom Übertragungstechnischen Standpunkt aus störende 50-Hz-

Netzspannung nur 230 V gegenüber 400 V bei der Ein- und Auskopplung zwischen zwei Phasen beträgt.

Die Einkopplung der Signale auf das Niederspannungsnetz erfordert deutlich mehr schaltungstechnischen Aufwand als dies bei der Auskopplung der Signale der Fall ist. Der Einkopplung der Signale muß deshalb auch größere Bedeutung beigemessen werden, da hier das größere Potential für weitere Kosteneinsparung bei gleichzeitig verbesserten Eigenschaften gesehen wird. Im folgenden wird deshalb nur noch die Einkopplung der Signale betrachtet und diskutiert. Die eigentlich immer vorhandene Stufe für die Auskopplung der Signale wird nur noch dann erwähnt, wenn dies im Sinne der Beschreibung der Erfindung erforderlich erscheint.

Die Leitungen von der Verteiltransformatorstation zu den Hausanschlüssen der Endverbraucher sind teilweise als Erdkabel, teilweise als Freileitungen ausgeführt, wobei auf dem Weg von der Verteiltransformatorstation zum Endverbraucher mehrere Übergänge von Erdkabeln auf Freileitungen und umgekehrt vorkommen können. Darüber hinaus treten Verzweigungspunkte auf, da nicht jeder Endverbraucher über eine eigene Kabelverbindung mit der Verteiltransformatorstation verbunden ist. Erdkabel weisen im Vergleich zu Freileitungen einen größeren Kapazitäts- und einen kleineren Induktivitätsbelag auf, woraus ein erheblich niedrigerer Wellenwiderstand des Erdkabels resultiert. An einem Übergang Freileitung – Erdkabel findet aus diesem Grund eine Spannungsteilung statt, die einen großen Beitrag zu den insgesamt sehr hohen Dämpfungswerten liefert. Diese Stoßstellen sind auch die Ursache dafür, daß sich das Verteilnetz als Nachrichtenkanal nicht reziprok verhält, sondern das Verhalten von der Kommunikationsrichtung abhängt. Die Dämpfungseigenschaften des Nachrichtenkanals ändern sich im Laufe des Tages, je nachdem, wie stark und auf welche Weise das Niederspannungsnetz durch angeschlossene Verbraucher (insbesondere Geräte mit eingangsseitigen EMV-Filtern, wie z. B. primär getaktete Stromversorgungen von Fernsehgeräten etc.) belastet wird. Um die negativen Auswirkungen dieser Eigenschaften auf die Zuverlässigkeit des Nachrichtenübertragungssystems gering zu halten ist wünschenswert, daß am Netzeinspeisepunkt im gesamten Nutzfrequenzbereich unabhängig vom gegenwärtigen Belastungszustand immer die maximal erlaubte Signalamplitude zur Verfügung steht.

Die meist stark induktive, gegebenenfalls aber auch kapazitive Einkoppel- oder Zugangsimpedanz kann am Netzeinspeisepunkt des INC oder des TR in weiten Grenzen variieren. Der Betrag der Impedanz ist frequenzabhängig und liegt, je nach Verkabelungsart und Belastung des Netzes sowie für jede diskrete Sendefrequenz zwischen weniger als einem Ohm bis hin zu hundert Ohm. Diese Impedanz bildet die Last für den Ausgangsverstärker des INC und des TR. Je niedriger die Impedanz, desto mehr Scheinleistung wird zum Aufprägen einer bestimmten Signalamplitude auf die vorhandene Netzspannung benötigt. Diese Scheinleistung muß von der Stromversorgung des Ausgangsverstärkers als Wirkleistung bereitgestellt werden und wird größtenteils als Verlustleistung in dem Ausgangsverstärker umgesetzt. Die Ursache für dieses Problem ist in der Fehlanpassung von Zugangsimpedanz und Quellimpedanz des Koppelnetzwerkes zu suchen. Es wäre wünschenswert, wenn die vom Ausgangsverstärker aufzubringende Ausgangsleistung eine reine Wirkleistung wäre. Nur dann ist es möglich, eine optimale Auslegung des Verstärkers und seiner Stromversorgung mit möglichst geringer Leistung zu erzielen.

Bedingt durch die Frequenzabhängigkeiten der Eingangsimpedanz einerseits und der Impedanz des eigentlichen Einkoppelnetzwerkes andererseits ist die Kurvenform des FH-

Modulationssignals verzerrt. Dies führt zu Ein- und Ausschwingvorgängen beim Übergang zwischen den diskreten Frequenzen und muß im Hinblick auf eine störungsfreie Datenübertragung möglichst vermieden werden.

Der Ausgangsverstärker verursacht bei heute kommerziell verfügbare Systemen zusammen mit der Stromversorgung einen großen Anteil an den Kosten für das gesamte PLC-System, so daß durch optimale Auslegung der Netzeinkoppelstufe die bislang noch hohen Kosten des gesamten Systems deutlich reduziert werden können. Zudem erfüllen kommerziell verfügbare Systeme die oben genannten elementaren technischen Anforderungen nicht.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Einkoppelstufe anzugeben, mit der das Gesamtsystem den oben genannten elementaren technischen Anforderungen genügt und wodurch eine deutliche Verbesserung des Wirkungsgrades bei gleichzeitig geringen Herstellungskosten erzielt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch ein Einkoppelnetzwerk mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhaft Ausgestaltungen sind in weiteren Ansprüchen angegeben.

Eine weitere Beschreibung der Erfindung und deren Vorteile erfolgt nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen, die in Zeichnungsfiguren dargestellt sind.

Es zeigen:

Fig. 1 Blockschaltbild einer üblichen Einkoppelstufe nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe,

Fig. 3 Schaltbild einer gängigen Realisierung der nach dem Stand der Technik üblichen Einkoppelstufe,

Fig. 4 Schaltbild einer ersten möglichen Realisierung der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe,

Fig. 5 Schaltbild einer zweiten möglichen Realisierung der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe,

Fig. 6a, b, c vergleichende Darstellung des Einschwingvorganges des Sendesignals nach dem Stand der Technik und nach der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe.

Gemäß dem in **Fig. 1** dargestellten Blockschaltbild besteht die nach dem Stand der Technik übliche Konfiguration zur Einspeisung eines Sendesignals u_{HF} prinzipiell aus einem Modul für Signalverarbeitung **101**, in dem die Modulation / Demodulation erfolgt, einem Modul, das einen Ausgangsverstärker **102** enthält, einem Modul **103** für die Stromversorgung des Ausgangsverstärkers **102** und der Schaltung für die Signalverarbeitung **101**, einem Modul für die Einkopplung der Signale **104** auf das Niederspannungsnetz sowie einem Modul für die Auskopplung des Empfangssignals **105**. Die Module **104** und **105** enthalten gewöhnlich auch jeweils einen Transformator zur Potentialtrennung und zur Anpassung der Signalamplitude. Das Modul **101** liefert als analoge Ausgangsgröße eine Spannung u_{HF} , die vom Ausgangsverstärker **102** verstärkt wird. Als Eingangsgröße des Moduls **101** ist die ausgekoppelte Empfangsspannung u_{RX} anzusehen. Des weiteren wird mit dem Modul **101** auch der digitale Datentransfer zur restlichen Schaltung abgewickelt. Die Ausgangsgröße der Gesamtschaltung bildet die Spannung u_L , die dann quasi über der Netzimpedanz Z_L anliegt. Mit u_1 , u_1 , u_2 sind Ein- und Ausgangsspannungen des Stromversorgungsmoduls **103** bezeichnet. Mit u_N ist die Wechselspannung des Niederspannungsnetzes bezeichnet. Die Ausgangsspannung des Verstärkers **102** ist mit u_{amp} bezeichnet.

Bei dem in **Fig. 2** gezeigten Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Netzeinkoppelstufe sind zu dem in **Fig. 1** dargestellten Blockschaltbild drei weitere Module **206**, **207** und **208** hinzugefügt, mit denen die eingangs erwähnten

technischen Grundanforderungen erfüllt werden. Die mit **201** bis **205** bezeichneten Module können dabei in gleicher Weise aufgebaut sein, wie dies nach dem Stand der Technik bei den in **Fig. 1** gezeigten Modulen **101** bis **105** gegeben ist.

Modul **206** wird zwischen dem Modul für den Ausgangsverstärker **202** und dem Modul für die Einkoppelung der Signale **204** angeordnet. Mit diesem vorzugsweise aus passiven Bauelementen bestehenden Netzwerk wird eine Anpassung der Impedanz erzielt, mit welcher der Ausgangsverstärker **202** belastet wird (= Matching-Netzwerk). Das Netzwerk **206** wird dabei zweckmäßigerweise so ausgelegt, daß bei dem zu erwartenden schlechtesten Fall (dies ist derjenige, bei dem die von **202** und somit auch von **203** aufzubringende Leistung sonst am höchsten ist) sich am Ausgang des Verstärkers **202** eine ohmsche Last einstellt. Auf diese Weise kann der Leistungsbedarf des Ausgangsverstärkers **202** und damit auch die bereitzustellende Ausgangsleistung des Netztes **203** weiter reduziert werden. Das Reglermodul **207** enthält eine Schaltung, durch welche eine Regelung der Ausgangsspannung u_L ohne Kenntnis der Einkoppelimpedanz Z_L erzielt werden kann. Diese Regelung kann entweder direkt (durch Messung der Ausgangsspannung u_L bei auf Netzpotential angeordneter Einkoppelstufe) oder indirekt durch Messung eines Stromes (z. B. des Ausgangsstromes des Ausgangsverstärkers i_M oder des Stromes des in Reihe geschalteten Netzwerkes für die Anpassung der Impedanz) erfolgen. **Fig. 2** zeigt als Beispiel, wie die indirekte Regelung der Ausgangsspannung u_L erfolgen kann. Die Eingangsgröße des Reglermoduls **207** bildet der durch den Meßumformer **208** auf eine Spannung u_{mess} abgebildete Strom i_M des Netzwerkes **206** zur Anpassung der Impedanz. Mit u_M ist die Ausgangsspannung des Moduls **206** bezeichnet. Die Ausgangsgröße $u_{rück}$ des Reglermoduls **207** ist eine dem Strom des Netzwerkes zur Anpassung der Impedanz und damit der Ausgangsspannung u_L äquivalente Spannung. Diese Spannung wird – wie in der Regelungstechnik üblich – mit der vom Modul **201** gelieferten Wechselspannung u_{HF} verglichen. Am Eingang des Ausgangsverstärkers steht dann die mittels einer Additionsstelle **209** gebildete Differenzspannung U_{Diff} zur Verfügung, die sich abhängig von der Impedanz des Netzes Z_L einstellt. Weiterhin ist zu erwähnen, daß das Modul **206** mit dem Netzwerk zur Anpassung der Impedanz innerhalb der aufgezeigten Regelschleife liegt.

Die in **Fig. 2** dargestellte Anordnung liefert demzufolge eine Ausgangsspannung u_L nahezu konstanter Amplitude, unabhängig von der Frequenz und den unterschiedlichsten Impedanzen des Netzes, bei gleichzeitig geringem Leistungsbedarf des Ausgangsverstärkers **202** und damit auch geringem Leistungsbedarf der Stromversorgung **203**.

Fig. 3 zeigt ein Schaltbild einer gängigen Realisierung nach dem Stand der Technik. Das prinzipielle Problem der bekannten Schaltung besteht darin, daß der Ausgangsverstärker **102** unabhängig von der Einkoppelimpedanz Z_L eine Signalspannung konstanter Amplitude abgibt. Durch die von den Koppelkondensatoren C_{k1} und C_{k2} sowie den mit parasitären Eigenschaften behafteten Transformator **T** (mit frequenzabhängigem Kurzschlußwiderstand und Streuinduktivität) gebildete Impedanz Z_Q wird die dynamisch niedrige Ausgangsimpedanz des Verstärkers **102** stark angehoben. Der Koppelkondensator C_{k1} wird benötigt, um die 230-V/50-Hz-Netzspannung u_N vom Ausgangsverstärker fernzuhalten. Die Wahl des Kapazitätswertes von C_{k1} und C_{k2} ist dabei ein Kompromiß. Einerseits soll der Wert möglichst niedrig sein, um den 50-Hz-Strom durch den Ausgangsverstärker zu begrenzen. Andererseits darf die Impedanz der Kondensatoren C_{k1} und C_{k2} bei der niedrigsten zu übertragenden Signalfrequenz nicht zu groß sein, da sie mit der

Einkoppelimpedanz Z_L einen frequenzabhängigen Spannungsteiler bildet und damit die eingekoppelte Signalamplitude vermindert. Insbesondere bei den niedrigen Signalfrequenzen, wo wegen des besonders niedrigen Betrages der Einkoppelimpedanz vergleichsweise hohe Einkoppelleistungen benötigt werden, macht sich der Hochpaßcharakter der Anordnung störend bemerkbar. Der Kondensator C_{k2} stellt sicher, daß ein bedingt durch den Offset des Verstärkers eventuell vorhandener Gleichspannungsanteil der Ausgangsspannung des Verstärkers nicht den Transformator in einer Richtung magnetisiert und damit die Sättigung des Transformators herbeiführt.

Durch die erhöhte Quellimpedanz Z_Q kommt es zu einer frequenz- und lastabhängigen Spannungsteilung zwischen Z_L und Z_Q , weshalb die Amplitude der Ausgangsspannung u_L sehr stark schwankt. In einer solchen Anordnung nach dem Stand der Technik muß die Impedanz Z_Q der Einkoppelstufe im Vergleich zur niedrigsten Impedanz des Netzes gering sein, damit die beschriebene Spannungsteilung nicht zu stark ins Gewicht fällt. Selbst wenn dies gelingt, ist es mit dieser Schaltung nicht möglich, die Amplitude der eingekoppelten Sendesignals über einen größeren Frequenzbereich reproduzierbar einzustellen.

Fig. 4 zeigt dagegen eine erste mögliche Realisierung der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe mit indirekter Regelung der Ausgangsspannung u_L . Bei dieser Realisierungsvariante wird der Primärstrom i_M des Transformators T als Maß für die Ausgangsspannung verwendet. Dieses Prinzip beruht auf der Tatsache, daß aus dem Integral des Stromes i_M bei bekannten Werten der Koppelkondensatoren C_{k1} und C_{k2} und der Parameter des Transformators näherungsweise die Spannung an der Netzimpedanz Z_L berechnet werden kann. Hierbei wird vereinfacht angenommen, daß die 50-Hz-Spannung U_M – wie auch bei der Schaltung nach dem Stand der Technik – am Koppelkondensator abfällt und daß sich die entsprechende Masche netzseitig über die Hauptinduktivität des Transformators schließt. D. h. durch Kenntnis des Stromes i_M auf der Primärseite des Transformators kann näherungsweise auf die Spannung u_L über der Einkoppelimpedanz geschlossen werden. Das eigentliche Spannungssignal kann aus dem Strom i_M reproduziert werden, wenn man das Ausgangssignal u_{mess} einer Strommeßeinrichtung 208, die z. B. als Widerstand oder Stromtransformator ausgeführt sein kann, in Block 207 zunächst verstärkt (angedeutet durch den Operationsverstärker OP1 mit dem Verstärkungsfaktor k) und anschließend einer Hochpaßfilterung unterzieht, um den Restanteil des 50-Hz-Stromes zu eliminieren. Beispielfhaft geschieht das in Fig. 4 durch den mittels R_{HP1} , R_{HP2} , C_{HP1} , C_{HP2} , als Hochpaß 2. Ordnung geschalteten OP2. Abschließend wird das Stromsignal einem Integrator (OP3, R_{int} , C_{int}) zugeführt. Das so gewonnene Abbild $u_{rück}$ der Ausgangsspannung u_L und die Ausgangsspannung u_M eines Matching-Netzwerkes 206 werden mittels R_1 und R_2 gewichtet summiert und von der Soll-Ausgangsspannung u_{HF} zur Bildung der Regeldifferenz u_{diff} subtrahiert. Das geschieht im vorteilhaft als Differenzverstärker ausgeführten Eingangsteil des Leistungsverstärkers 202.

Das Matching-Netzwerk 206 ist allgemein in Form eines T-Ersatzschaltbildes dargestellt. Im einfachsten denkbaren Fall kann es aus nur einer einzigen Serieninduktivität bestehen, die mit der Serienschaltung der Kondensatoren C_{k1} und C_{k2} des Moduls 204.1 einen Serienresonanzkreis bildet, dessen Resonanzfrequenz im Übertragungsband nahe der niedrigsten zu übertragenden Frequenz liegt. Eine solche Serieninduktivität kann entweder ein diskretes Bauelement sein oder aber durch die Streuinduktivität eines Transformators zur Pegelanpassung gebildet werden. Entgegen dem in Fig. 3 dargestellten Stand der Technik ist die Streuinduktivität ei-

nes solchen Übertragers in dem in Fig. 4 vorgeschlagenen Konzept kein Nachteil, vielmehr wird eine vorher störende parasitäre Eigenschaft eines Bauelementes vorteilhaft genutzt. Im wesentlichen gelingt das durch Einbeziehung des Anpassungsnetzwerkes 206 in die innere Schleife des zweischleifigen Regelkreises (sog. Kaskadenregelung), den die in Fig. 4 vorgeschlagene Anordnung bildet.

Fig. 5 zeigt eine zweite mögliche Realisierung der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe. Die gesamte Einkoppelstufe befindet sich hierbei auf Netzpotential. Wenn auf den Transformator zur Potentialtrennung im Ausgangskreis verzichtet wird, vereinfacht sich das Modul zur Netzeinkopplung 204.2 wesentlich und enthält nur noch einen Koppelkondensator C_{k1} . Dadurch wird nicht nur der aufwendige und teure Übertrager eingespart; obendrein kann eine exaktere Reproduzierung der Spannung u_L durch das Reglermodul 207 erreicht werden. Bei dieser Variante wird direkt der Laststrom i_M zur Berechnung der Ausgangsspannung u_L verwendet. Dazu wird analog zu Fig. 4 mittels der Strommeßeinrichtung 208, hier beispielhaft ein einfacher Shuntwiderstand R_{CS} , eine Umformung des Stromes i_M in eine Spannung u_{mess} vorgenommen. Diese wird wieder durch OP1 verstärkt, durch OP2 gefiltert und durch OP3 integriert. Die Regelgröße u_M der inneren Regelschleife wird mittels R_1 , die Rückführgröße des äußeren Kreises $u_{rück}$ durch R_2 skaliert. Diese gewichtete Summe wird zur Bildung der Regeldifferenz u_{diff} von der Soll-Ausgangsspannung u_{HF} subtrahiert, was auch hier wieder vorteilhaft im Leistungsverstärker 202 erfolgt. Die Eigenschaften der Kaskadenregelung kommen in dieser Variante ebenso zur Geltung wie in der in Fig. 4 dargestellten Anordnung. Sollte eine Potentialtrennung zur restlichen Schaltung 201 nötig sein, kann diese z. B. am Ausgang des Moduls 201 vorgenommen werden, wo u_{HF} anliegt. Der Vorteil gegenüber dem Stand der Technik (Fig. 3) ist dabei, daß an dieser Stelle nur kleine Leistungen auftreten, so daß ein kleinvolumiger, preisgünstiger Übertrager eingesetzt werden kann. Darüber hinaus spielen dessen parasitäre Eigenschaften an dem vorgeschlagenen Einbauort nur eine untergeordnete Rolle. Denkbar wäre auch ein Einsatz eines Optokopplers statt des Übertragers.

Fig. 6a bis 6c zeigen schließlich als Beispiel ein Simulationsergebnis des Einschwingvorganges des Sendesignals u_L . Das in Fig. 6a dargestellte Schwingungspaket mit 3 unterschiedlichen Frequenzen, aber identischer Amplitude soll mit einer Amplitude von 2 V möglichst exakt auf die unbekannte Netzimpedanz u_L aufgeprägt werden. Fig. 6b stellt den Zeitverlauf der Ausgangsspannung u_L dar, wenn eine Einkoppelstufe nach dem Stand der Technik (Fig. 3) eingesetzt wird: Es treten starke Einschwingverzerrungen auf, und die Amplituden der einzelnen Sendefrequenzen sind sehr unterschiedlich. Die höchste und die niedrigste Sendefrequenz erreichen schon am Einspeisepunkt nicht den angestrebten Pegel, was die Reichweite und Zuverlässigkeit der Datenübertragung einschränkt. Bedingt durch Resonanzeffekte können, wie in Fig. 6b ebenfalls gut zu erkennen, bei bestimmten Frequenzen auch unkontrollierte Amplitudenüberhöhungen entstehen. Ein solches Verhalten ist aber vom Standpunkt der Norm EN50065-1 aus, in der Maximalamplituden für solche Power-Line-Kommunikationssysteme festgelegt sind, inakzeptabel: Je nach den Impedanzeigenschaften des Einspeisepunktes können z. T. erhebliche Überschreitungen der erlaubten Sendepegel auftreten. Das kann nur verhindert werden, wenn man die Sendeamplitude von vornherein so niedrig wählt, daß Überschreitungen ausgeschlossen sind. Das hat aber drastische Einbußen für Reichweite und Zuverlässigkeit des PLC-Systems zur Folge.

Anders sehen die in Fig. 6c dargestellten Ergebnisse bei

Verwendung der vorgeschlagenen neuartigen Einkoppelstufe aus: Die angestrebte konstante und sehr gut reproduzierbare Amplitude des Sendesignals von 2 V wird erreicht, störende Einschwingvorgänge sind weitgehend unterdrückt. Mit dieser Anordnung können die in EN50065-1 spezifizierten Sendepegel tatsächlich ausgeschöpft werden, ohne daß Pegel einbußen am Einspeisepunkt in Kauf genommen werden müssen oder bei bestimmten Frequenzen Überschreitungen auftreten. Durch das in den Fig. 2, 4 und 5 gezeigte Anpassungsnetzwerk 206 gelingt es dabei gleichzeitig, die vom Sendeverstärker 202 zu liefernde Leistung zu minimieren.

Aus vorstehenden Ausführungen ergibt sich, daß die Ziele

- a) die Zuverlässigkeit des gesamten Power-Line-Datenübertragungssystems zu steigern bei
- b) gleichzeitiger Verringerung der Verlustleistung des Sendeverstärkers und der nötigen Netzteilleistung, durch Einsatz der vorgeschlagenen Einkoppeleinrichtung für Stromnetz kommunikationssysteme erreicht werden.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Einkopplung eines hochfrequenten Sendesignals (u_{HF}) in ein Niederspannungsnetz (L1, N), wobei
 - a) ein Ausgangsverstärker (202) angeordnet ist, dem als Eingangsspannung eine an einer Additionsstelle (209) gebildete Differenzspannung (u_{Diff}) zwischen dem Sendesignal (u_{HF}) und einem Rückführsignal ($u_{rück}$) zugeführt ist,
 - b) dem Ausgangsverstärker (202) zur Anpassung an die Netzimpedanz (Z_L) ein Netzwerk (206) nachgeschaltet ist,
 - c) am Ausgang des Netzwerks (206) Mittel (208) zur Erfassung einer dem Netzwerk-Ausgangstrom- (i_M)-proportionalen Spannung (u_{mess}) angeordnet sind, und
 - d) die erfaßte Spannung (u_{mess}) einem Reglermodul (207) zugeführt ist, dessen Ausgangssignal das Rückführsignal ($u_{rück}$) ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Netzwerk (206) mit passiven Bauelementen aufgebaut ist.
3. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Reglermodul (207) Mittel enthält zur Ausführung einer Verstärkung, einer Hochpaßfilterung und einer Integrationsfunktion.
4. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Netzwerk (206) ein Einkoppelmodul (204.1) nachgeschaltet ist, das einen Transformator (T) mit primär- und sekundärseitigen Koppelkondensatoren (C_{k1} , C_{k2}) enthält.
5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß dem Netzwerk (206) ein Einkoppelmodul (204.2) nachgeschaltet ist, das nur einen Koppelkondensator (C_{k1}) enthält.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

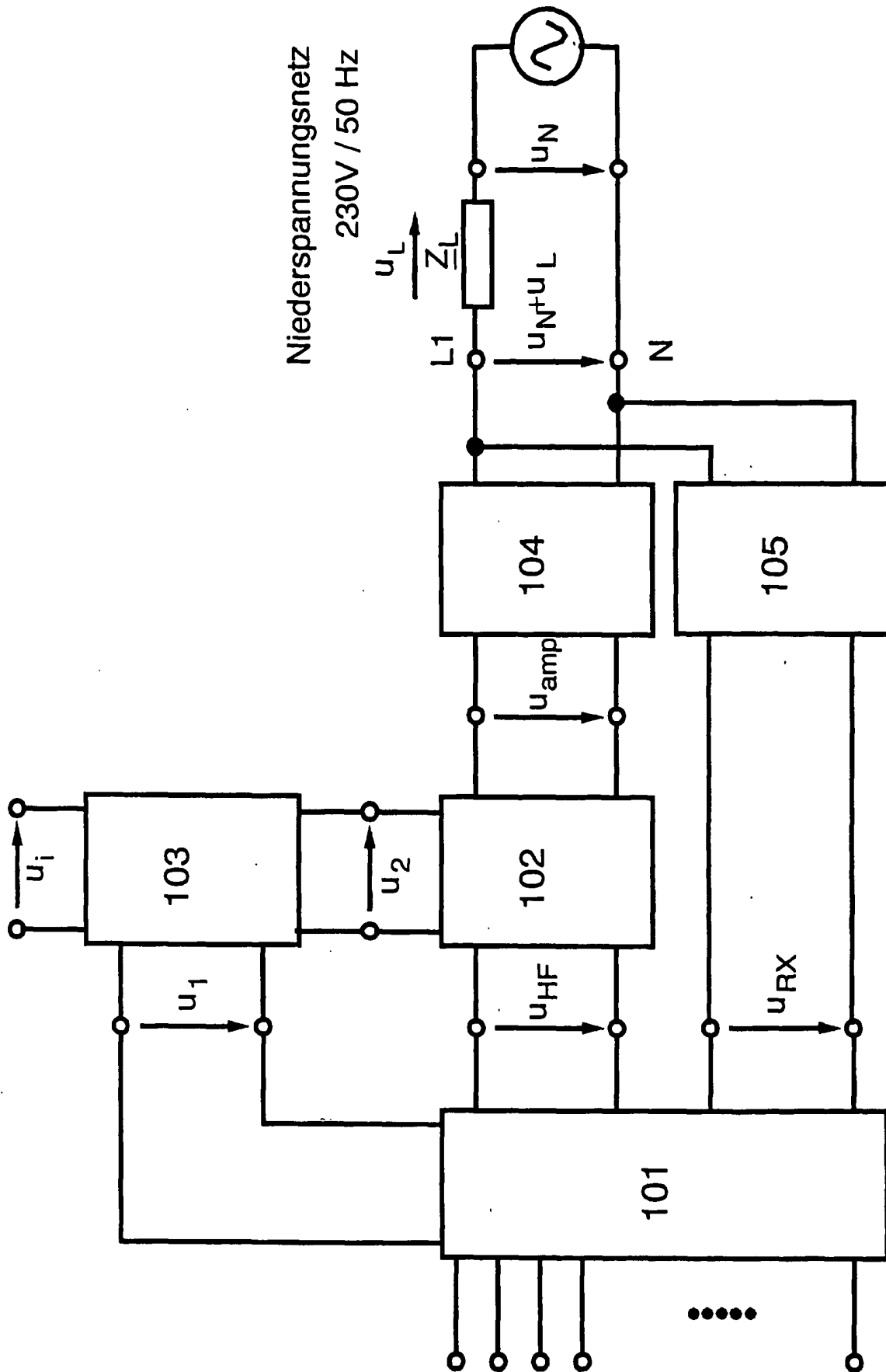


Fig. 1: Blockschaltbild der nach dem Stand der Technik üblichen Einkoppelstufe

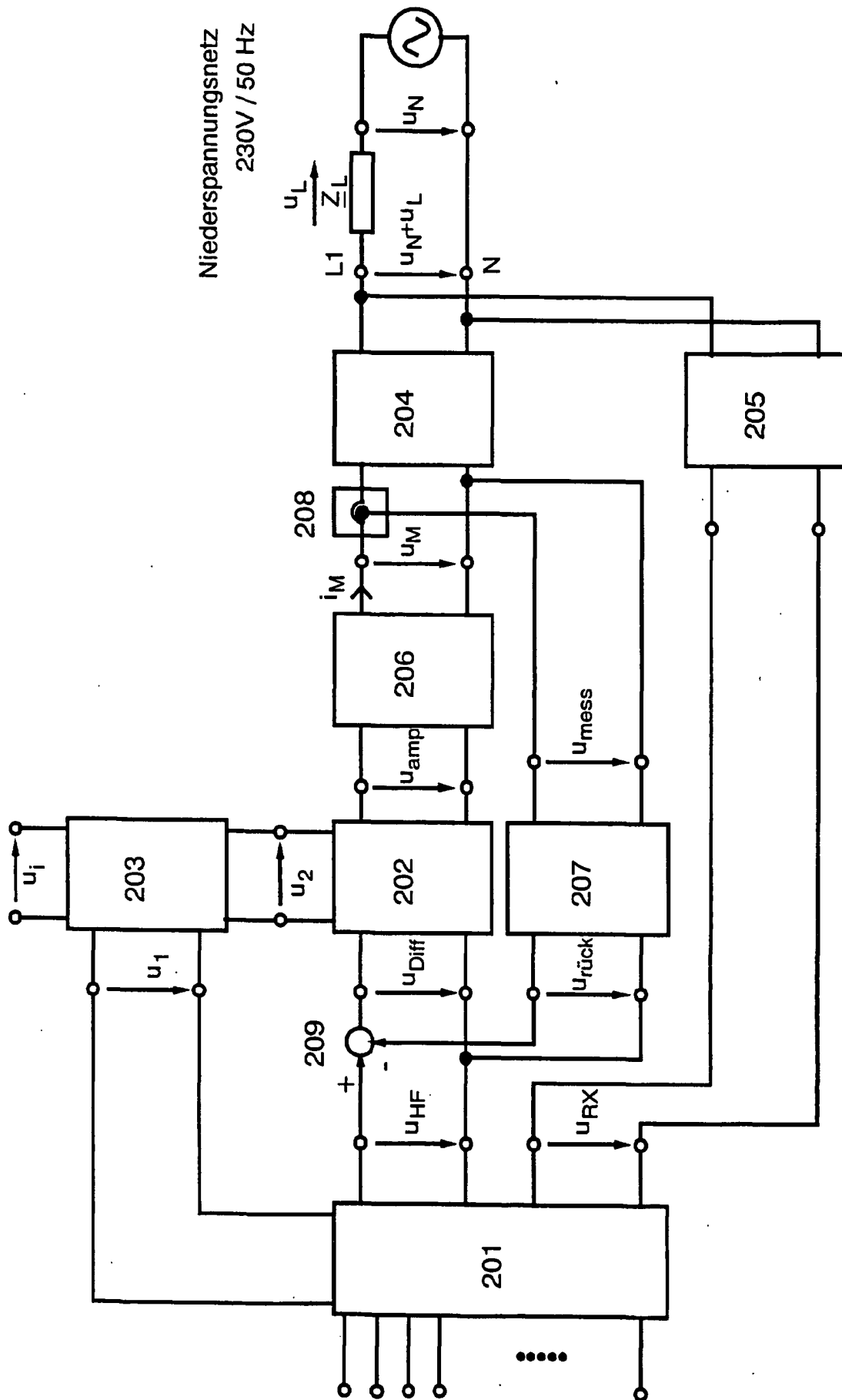
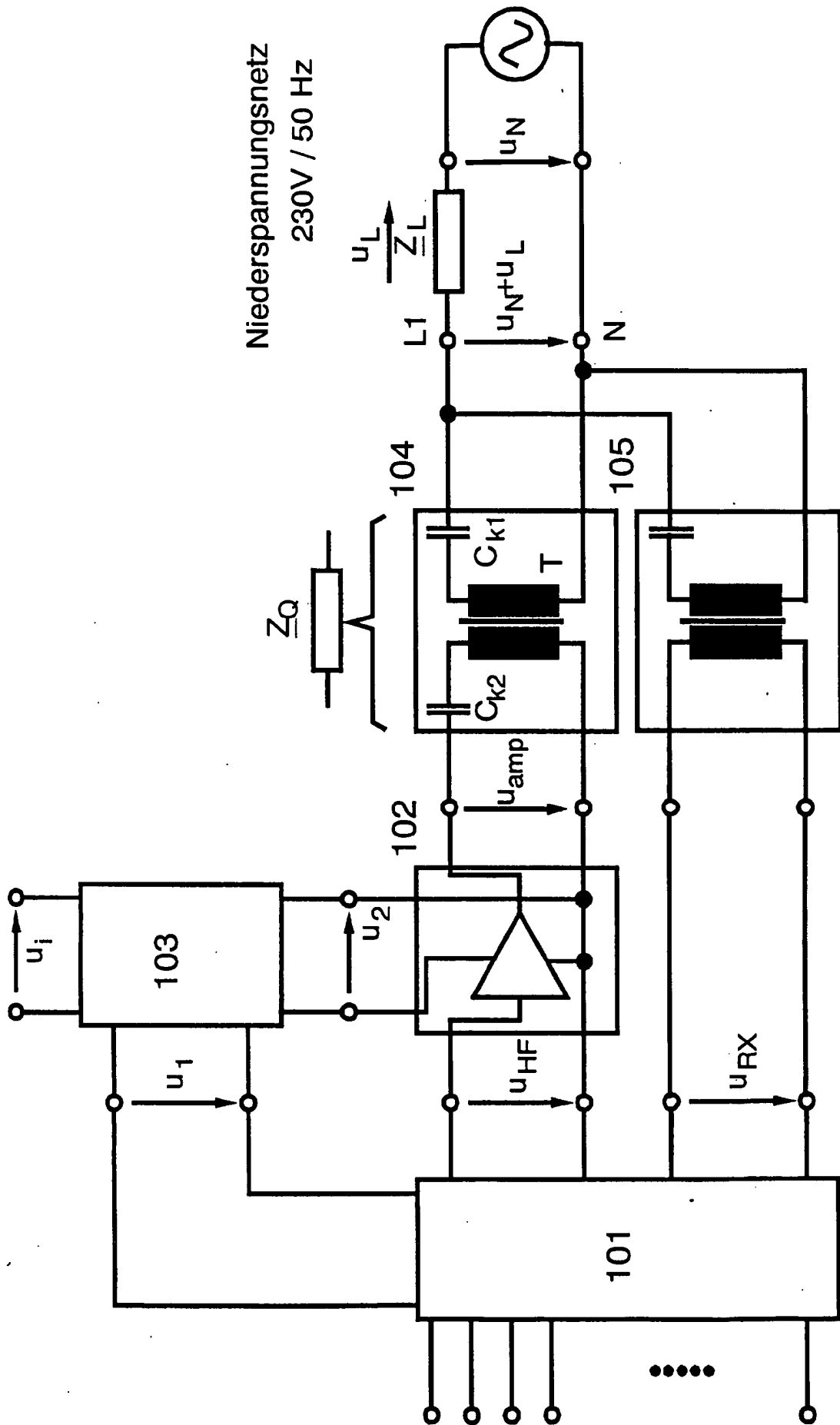
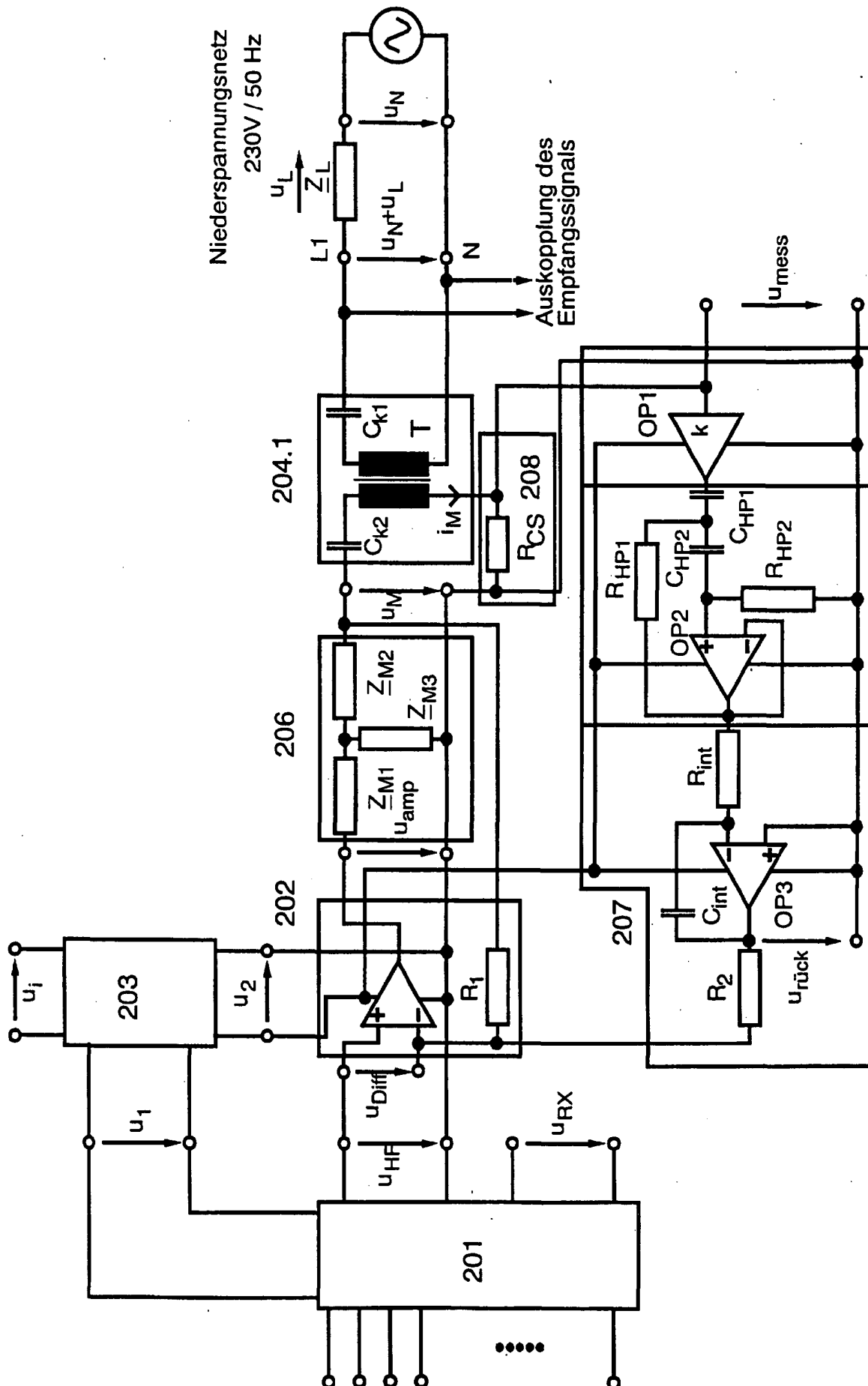


Fig. 2: Blocksaltbild der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe





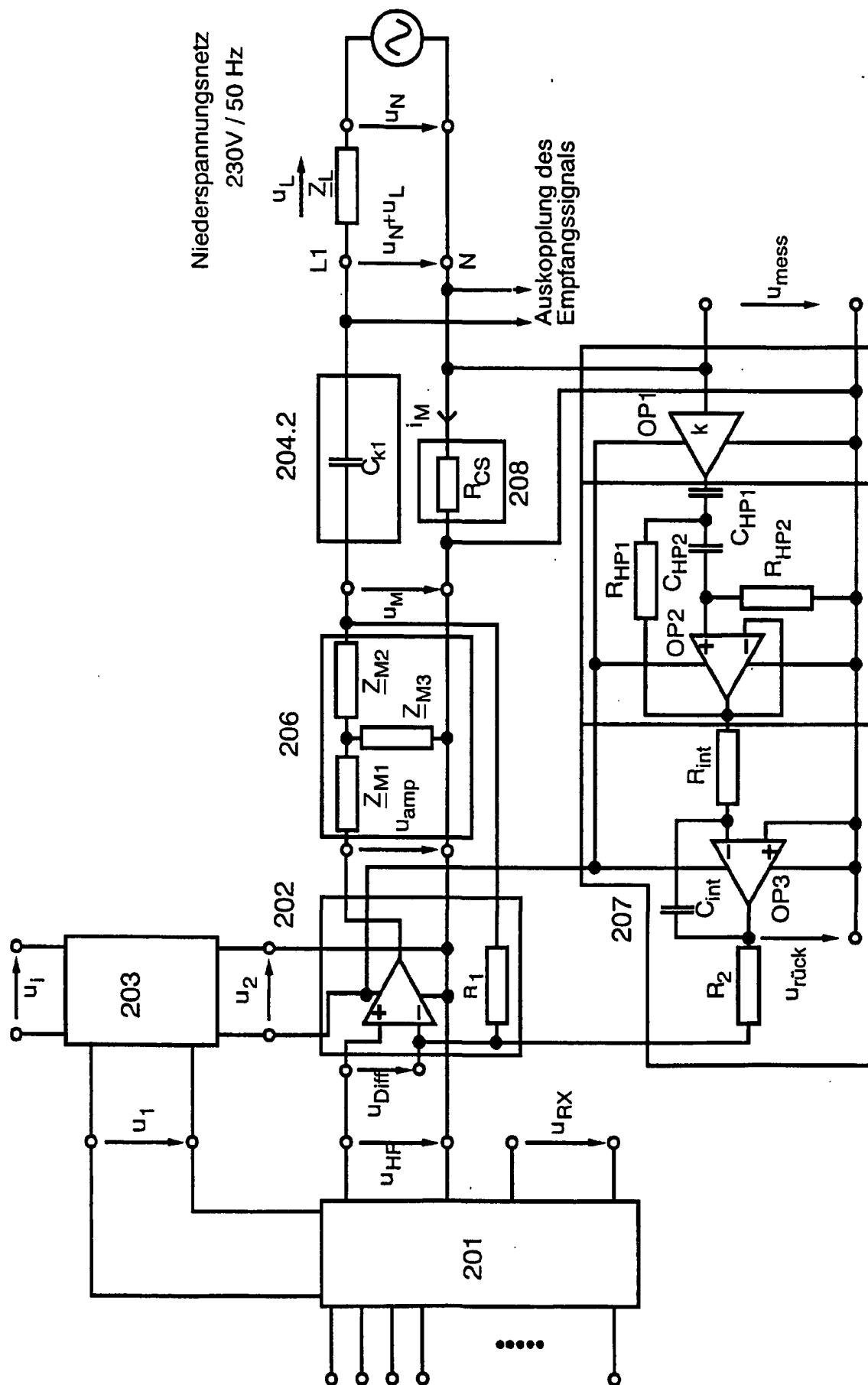


Fig. 5: Ein Schaltbild einer zweiten möglichen Realisierung der erfindungsgemäßen Einkoppelstufe

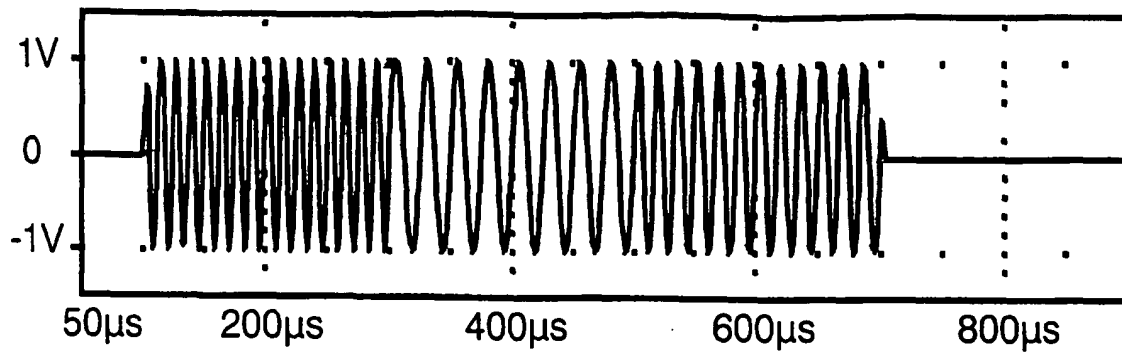


Fig. 6a: Zeitverlauf der Spannung u_{HF}

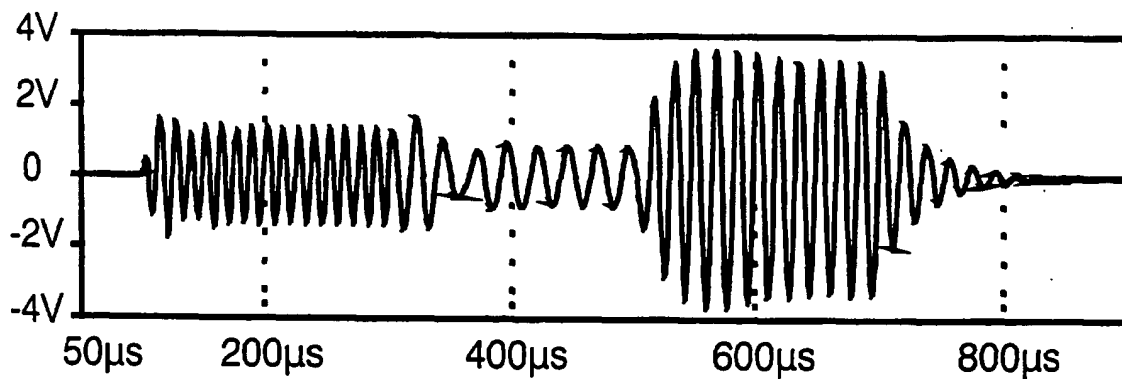


Fig. 6b: Einschwingvorganges des Sendesignals, Stand der Technik

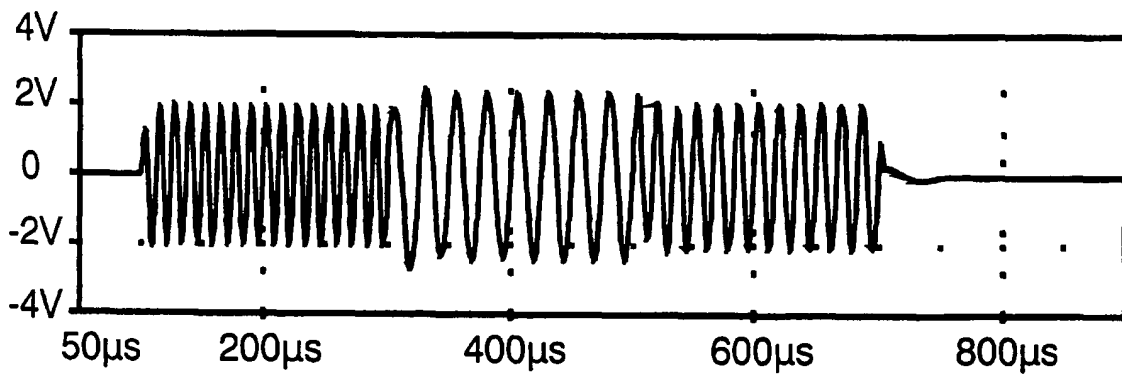


Fig. 6c: Einschwingvorganges des Sendesignals mit erfindungsgemäßer Einkoppelstufe